

编者按：本期“新型配电网”专题征文是2025年中国电机工程学会年会征文活动之一，旨在应对能源转型挑战，聚焦大规模新能源接入下的高效消纳、配电网承载能力提升、微网及零碳园区建设等关键问题。经审慎遴选，本期刊发其中9篇代表性论文，集中展示相关领域的研究成果与实践探索，为构建新型配电网提供有益参考，助力“双碳”目标在乡村地区的扎实推进。

县域电网视角下零碳园区建设路径探析与对策研究

张 锋¹, 张 怡^{2*}, 张 炜¹, 莫建国¹, 裘愉涛¹, 谢夏慧¹

(1. 国网浙江省电力有限公司, 浙江 杭州 310017; 2. 浙江水利水电学院, 浙江 杭州 310014)

摘要：文章首先阐述县域电网参与零碳园区建设的战略意义，再结合县域资源禀赋（风光、产业、负荷）与建设实际，剖析“因地制宜开发、统筹系统规划、多元模式创新、安全技术支撑”4大关键支柱，构建“源网荷储协同+数字智能调控+多元能源互补”技术框架。同时选取东（工业型）、中（农业型）、西（风光富集型）3类县域案例，提出差异化建设思路和方案，提供实践范式。最后，聚焦技术瓶颈、资金约束、机制障碍等困难，从技术研发、资金保障、政策机制层面提出对策，为中国县域规模化、差异化推进零碳园区建设提供建议。

关键词：县域电网；零碳园区；双碳目标；源网荷储一体化

中图分类号：TM727

DOI：10.13882/j.cnki.ncdqh.2509A025

CSTR：32400.14.ncdqh.2509A025

Analysis on the Construction Paths and Countermeasures of Zero-carbon Parks from the Perspective of County-level Distribution Networks

ZHANG Feng¹, ZHANG Yi^{2*}, ZHANG Wei¹, MO Jianguo¹, QIU Yutao¹, XIE Xiahui¹

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 310017, China; 2. Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, Zhejiang Hangzhou 310014, China)

Abstract: This paper first elaborates on the strategic significance of county-level distribution networks in zero-carbon park construction. Based on the resource endowments (wind, solar, industry, and load) and practical construction conditions of different counties, it analyzes four key pillars: localized development, integrated system planning, diversified model innovation, and secure technological support. A framework for the construction of a zero-carbon park is proposed, which comprehensively utilizes the coordination of source-grid-load-storage, digital intelligent regulation, and the interactions of multiple energy sources complementation technologies. Differentiate construction plans are proposed for three types of county scenarios, including the eastern (industrial), the central (agricultural), and the western (famous for natural scenery). Finally, focusing on challenges such as technological bottlenecks, funding constraints, and institutional barriers, the paper proposes countermeasures from the perspectives of technological R&D, financial assurance, and policy mechanisms, offering recommendations for large-scale and differentiated advancement of zero-carbon park construction in China's counties.

Keywords: county-level distribution network; zero-carbon park; dual carbon goals; source-grid-load-storage integration

0 引言

全球气候变化已成为人类社会面临的严峻挑战，推动能源体系从高碳向低碳、零碳转型成为国际共识。2020年，中国明确提出“二氧化碳排放力争于

收稿日期：2025-09-11

2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”的“双碳”目标。这一变革要求能源生产、传输、消费各环节全面调整，而园区作为产业集聚、能源消耗与碳排放集中区域，将成为减排降碳的前沿阵地和主战场。零碳园区作为园区级碳中和的先进形态，通过多结构综合优化实现园区边界内碳排

放与吸收平衡，正成为各地实践热点^[1-2]。

县域经济是我国国民经济重要组成部分，县域电网是连接主干电网与用户（尤其是分布式能源）的“最后一公里”。与城市相比，县域电网拥有更丰富的可再生能源资源，负荷密度较低，电网结构清晰，且政策执行力与社区凝聚力较强。这些优势使县域电网有条件且应积极探索零碳园区建设，这既是国家宏观战略在基层落地的必然要求，也是县域摆脱传统发展模式、培育绿色增长极、实现高质量发展的历史机遇^[3-4]。

本文立足县域电网这一基层能源枢纽视角，紧扣县域在“双碳”目标落地中的关键角色，系统探讨零碳园区从规划到运营的全流程建设路径。研究聚焦4大核心方向：在资源利用上，结合县域风光、生物质、工业余热等差异化禀赋，制定“一地一策”的清洁能源开发方案；在系统整合上，以县域电网为纽带，打通“源网荷储”各环节，构建多能互补的协同体系；在模式创新上，通过政策扶持与市场驱动结合，探索适配县域的商业运营与政策保障机制；在技术支撑上，依托数字孪生、AI等技术搭建智慧能源管控平台。最终形成一套兼顾区域适配性与实践操作性、可复制推广的县域零碳园区建设技术体系，为县域突破传统发展路径、实现绿色低碳转型提供扎实科技支撑与科学决策依据。

1 县域零碳园区建设重大意义

1.1 服务国家“双碳”目标基层实践

“双碳”目标的达成需统筹自上而下的承诺引领与自下而上的落地执行。以图1所示某省电力行业在“双碳”目标框架下的碳减排态势为例，该行业将在2060年实现从年碳排放超3亿t到零排放的重大转型，其减碳任务明确且极具挑战性。当前部分

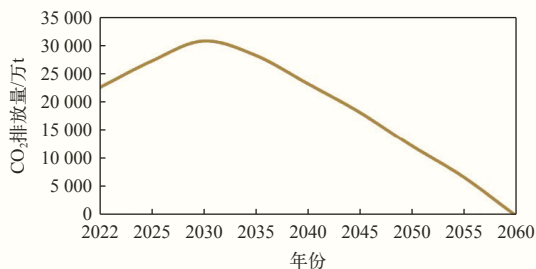


图1 “双碳”目标下某省电力行业2022—2060年碳减排情况

县域已面临分布式光伏消纳相对饱和的挑战，而零碳园区作为封闭可控的“试验田”，既能为县域整体碳中和路径提供技术验证、模式积累与管理经验，也能通过园区内多元能源互补、储能系统配置等方式，探索消纳饱和场景下的能源优化方案。

1.2 驱动县域经济绿色转型新引擎

传统县域经济多依赖资源消耗型或能源密集型产业，转型升级压力大。零碳园区建设不仅是减排任务，更是涉及多方面升级的发展革命。它能带动本地新能源装备制造、安装运维产业发展，创造绿色就业岗位；同时，零碳的绿色品牌与环境优势，可吸引高新技术产业等落户，优化产业结构，培育新经济增长点，实现经济发展与碳排放双推进。

1.3 提升县域电网韧性与能源安全

传统县域电网多为受端电网，依赖上级供电，在极端天气或故障时易断电。零碳园区通过大规模部署分布式可再生能源与储能系统，提高能源自给率，借助“源网荷储”协同优化，可实现自我平衡甚至孤岛运行，增强电网韧性与可靠性，保障关键企业用电安全，减轻主干电网压力，提升区域能源安全水平^[5-6]。

1.4 推动县域从能源消费者向“产消者”转变

零碳园区建设使县域从被动的能源消费者转变为主动的“产消者”。园区内建筑、企业不仅消费电力，还能通过屋顶光伏等生产电力，盈余绿色电力可反哺县域电网或参与市场交易。这种角色转变不仅可以通过虚拟电厂等组织方式带来经济收益，还可提升县域在能源体系中的话语权与主动性，拓展发展价值空间^[7]。

2 县域零碳园区建设优势与不足

县域作为连接城市与乡村的重要纽带，在零碳园区建设中既具备独特的基础条件，也面临着差异化的挑战。深入剖析其建设优势与存在不足，可为后续规划布局、资源调配及政策制定提供精准依据，推动县域零碳园区实现可持续、高质量发展。

2.1 县域零碳园区建设优势剖析

县域发展零碳园区具备显著优势：1) 自然资源禀赋优，清洁能源开发潜力大。县域土地广阔，山地、林地、水域等为太阳能、风能、生物质能提供空间。2) 成本低，投资性价比高。相较城市，县域

土地出让价、租金低，征地拆迁成本少，降低企业入驻门槛；劳动力丰富且成本低，减少运营人力开支；部分园区可就近获取农业原料，缩短供应链，降低生产运营成本。3) 政策支持完善，政府推动力度强。国家“双碳”目标下，县域获各级政策倾斜，中央、省级有专项补贴、税收减免等支持基建与研发；县域政府统筹力强，可定制扶持政策，简化审批、搭建政企平台。4) 生态基底好，低碳转型阻力小。县域工业化相对城市滞后，碳排放基数低，高耗能企业少，转型“历史包袱”轻；生态指标优，可开展林业、湿地碳汇，通过“减排+增汇”快速实现零碳目标，对居民生活、生态冲击小，社会接受度高^[8]。

2.2 县域零碳园区建设不足探讨

县域发展零碳园区也存在一些不足：1) 技术研发与应用能力薄弱，核心技术依赖外部。县域科研机构、高校少且投入不足，新能源储能、智能微电网等核心技术依赖外部；企业技术落后、转化弱，部分园区光伏风电设备因缺专业运维，效率低、故障多，或反增成本。2) 资金短缺问题突出，融资渠道单一。建设需大量前期投入，县域经济弱、财政紧，难以承担；融资渠道窄，金融机构因项目周期长、回报不确定少信贷支持，中小企业难通过绿色债券等获资金。3) 产业链配套不完善，产业协同效应弱。县域产业结构单一，清洁能源设备维修、低碳建材供应等配套企业少，园区需外地采购，增成本与供应链风险；企业协同弱，较难形成“清洁能源-低碳生产-废弃物循环”闭环。4) 碳管理体系不健全，监测核算能力不足。多数园区缺专业团队与工具，未建监测台账，碳排放靠粗略估算；对碳核算标准理解浅，缺减排项目申报与碳交易经验，难转化碳资产、衡量成效^[9]。

3 零碳园区建设关键举措

3.1 因地制宜开发：充分挖掘和利用本地资源禀赋

因地制宜开发是零碳园区建设的核心，需充分挖掘和利用本地资源禀赋。县域资源条件差异显著，能源供给须与本地资源紧密结合以实现高效开发利用。在风光资源丰富的西北、华北地区，应大力发展光伏与风电，采用高效钝化发射极和背面接触（PERC）组件、双面发电、跟踪支架及低风速风机

等适宜技术提升发电效率，并鼓励在屋顶、车棚等区域建设分布式光伏以实现就地消纳。东北、中南等农业县可依托秸秆、畜禽粪便等生物质资源，通过厌氧发酵、直燃/气化发电及热电联产等技术实现能源化利用，还可探索与太阳能互补供热或生物炭土壤修复等模式。西南、华南山区可开发小水电作为基荷电源，结合抽水蓄能、蓄电池等调节手段，配套发展风光发电；地热和工业余热丰富地区则可采用地源热泵、余热锅炉等技术满足采暖、制冷和工业用热需求。为确保开发科学经济，需借助 GIS、遥感、无人机及能源建模进行资源普查与技术经济评估，确定最优本地零碳能源组合^[10]。

3.2 统筹系统规划，构建“源网荷储”一体化协同体系

统筹系统规划是构建“源网荷储”一体化协同体系的关键。在电源侧，应统筹风电、光伏、生物质等多能互补组合，通过功率预测、联合控制系统及虚拟电厂平台平滑出力波动。电网侧需建设智能配电网，支持双向潮流控制、柔性直流输电和快速开关设备，并依托 IoT 和 PLC 技术实现实时监测与故障自愈。负荷侧应推广智能用电管理系统，部署智能电表、可中断负荷和需求响应系统，通过分时电价激励调峰，并发展电热储能、冰蓄冷等柔性负荷技术。储能侧需配置锂离子电池、钠硫电池、飞轮及压缩空气等多元储能设施，以满足调频和能量调度需求，并通过能源管理平台实现峰谷套利、平滑输出和黑启动等功能。最终通过智慧能源管控平台实现统一规划、协同运行，建成安全高效经济的零碳能源体系^[11-12]。一种适用于县域电网的“源网荷储”一体化系统见图 2。

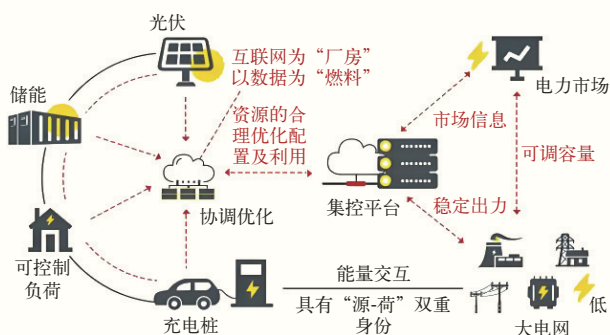


图2 适用于县域电网“源-网-荷-储”一体化系统示意图

3.3 多元模式创新：政策与市场双轮驱动

多元模式创新需依靠政策与市场双轮驱动以激发参与积极性。政策方面，地方政府应制定发展规划与路线图，建立评价标准、绿电认证和碳核算体系，并通过财政补贴、税收优惠、绿色信贷等降低融资成本，同时探索碳普惠机制扩大碳市场覆盖范围。市场方面，应推广合同能源管理、能源托管和PPP模式吸引社会资本，推动企业参与绿电交易和绿证市场，通过长期购电协议锁定低成本可再生能源，并将减排量转化为碳资产参与碳交易，还可探索碳中和债券、ESG基金等绿色金融工具拓宽融资渠道。通过政策与市场协同，可破解资金瓶颈并形成可持续商业模式，推动零碳园区规模化、标准化发展^[13]。适合零碳园区的政策机制设计与落实路径见图3。

3.4 安全技术支撑：建设智慧能源体系

安全技术支撑依赖于智慧能源体系的全面建设。数字系统以智慧能源管理平台（IEMP）为核心，依托云计算、物联网、数字孪生和AI技术构建“感知—传输—决策—执行”闭环：感知层通过传感器、无人机采集数据，传输层依托5G、IPv6和TSN实现可靠通信，平台层通过数字孪生进行多能流仿真与优化调度，应用层基于AI实现预测、运维、交易与碳管理。区块链技术保障绿电溯源与碳交易可信透明，网络安全体系覆盖各层级保障信息安全。通过IEMP实现全环节精细化管理、系统效率提升与碳排精准控制，最终达成能源与经济、环境协同发展^[14-15]。常见的智慧能源管理平台（IEMP）结构见图4。

4 零碳园区建设实施路径

零碳园区建设需围绕构建“源-网-荷-储协同 +

数字智能调控 + 多元能源互补”技术框架，以可再生能源替代、电网柔性升级、负荷智慧管理、储能高效配置及全链路数字化管控为抓手，构建全周期、低能耗、零排放的能源生态体系，以下从5大关键环节明确实施路径。

4.1 源侧建设

大力发展可再生能源发电：结合县域的资源禀赋，合理规划太阳能光伏电站、风力发电场的建设布局。鼓励在园区内的工业厂房、商业建筑和居民住宅的屋顶建设分布式光伏发电系统，提高光伏发电的装机容量。对于风力资源丰富的地区，建设集中式风力发电场，并配套建设储能设施，以平滑风电输出功率的波动。

适度发展其他清洁能源：对于有生物质能资源的县域，建设生物质能发电项目，如生物质直燃发电、生物质气化发电等。同时，积极探索地热能的开发利用，利用地热能进行供暖、制冷或发电。

加强能源基础设施建设：完善电源接入电网的配套设施，确保可再生能源能够顺利并网。建设智能变电站，提高电网对不同类型电源的接入和调控能力。

4.2 网侧建设

提升电网智能化水平：建设智能电网，采用先进的输电和配电技术，如柔性直流输电、智能配电自动化等，提高电网的输电能力和供电可靠性。通过安装智能电能表、传感器等设备，实现对电网运行状态的实时监测和数据分析。

优化电网结构：根据园区的负荷分布和电源布局，合理规划电网网架结构，减少输电损耗。加强县域电网与上级电网的互联互通，提高电网的互济能力。

加强电网与储能系统的协同：将储能系统纳入

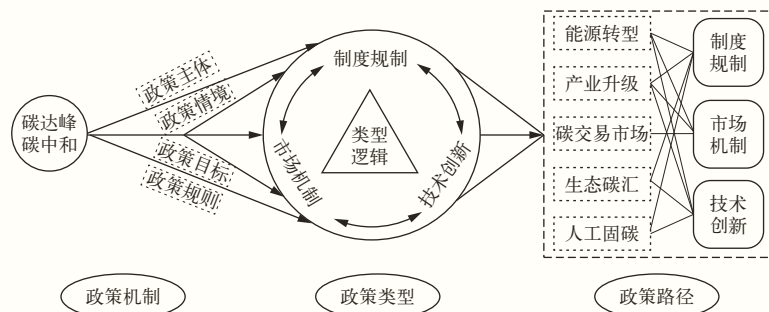


图3 零碳园区相关政策机制设计与落实路径图



图4 一种常见的智慧能源管理平台 (IEMP) 结构示意图

电网的统一调度，实现储能系统与电网的双向互动。在电力过剩时，电网向储能系统充电；在电力短缺时，储能系统向电网放电，辅助电网进行调峰、调频和调压。

4.3 荷侧建设

通过虚拟电厂等模式实施负荷调节：基于电力市场，建立负荷响应机制，通过价格信号引导用户调整用电行为。在电力高峰时段，鼓励用户减少用电负荷；在电力低谷时段，鼓励用户增加用电负荷。例如，对于工业用户，可以通过调整生产班次、优化生产工艺等方式实现负荷的转移。

推广节能技术和设备：在园区内推广节能灯具、节能空调、节能电机等节能设备，提高能源利用效率。鼓励企业进行节能技术改造，降低单位产品的能耗。

建设智能用电系统：通过安装智能电能表、智能插座等设备，实现对用户用电数据的实时采集和分析。为用户提供个性化的用电建议和节能方案，帮助用户实现科学用电。

4.4 储侧建设

合理配置储能设备：根据园区的负荷特性和电源结构，选择合适的储能技术和容量。对于短期的功率调节需求，可以采用电池储能系统；对于长期的能量存储需求，可以考虑抽水蓄能等大容量储能技术。

建设共享储能电站：鼓励建设共享储能电站，为多个用户或电源提供储能服务。通过共享储能电站的建设，可以提高储能设备的利用效率，降低储能成本。

探索新型储能技术：积极关注和探索新型储能技术的发展，如超级电容器、飞轮储能等，为县域电网零碳园区的储能应用提供更多选择。

4.5 数字智能调控平台建设

建立能源大数据中心：整合源网荷储各个环节的数据，建立能源大数据中心。通过对大数据的分析和挖掘，实现对能源系统运行状态的全面感知和精准预测。

开发智能调控软件：基于能源大数据中心，开发智能调控软件，实现对源网荷储的优化调度和协同控制。利用人工智能算法，制定最优的电力调度方案，提高能源利用效率。

实现可视化管理：通过建设可视化管理平台，将能源系统的运行数据以直观的图表、图形等形式展示出来，方便管理人员进行决策和监控。实现“一屏知全域、一网管全局”的高效管理模式。

5 县域电网零碳园区构建典型模式

5.1 工业主导型县域（以东部某工业县为例）

资源特征：太阳能资源较丰富，工业余热（钢铁、化工等行业高温烟气、冷却水）资源量大且稳定，同时存在工业固废（如钢渣、粉煤灰）可用于储能材料制备。

核心路径：1) 电源侧，重点推进工业余热发电项目建设，配套建设大型地面光伏电站及厂房屋顶分布式光伏，利用工业固废研发新型储能电池并试点建设分布式储能电站，形成“余热发电+光伏+新型储能”多能互补供电体系。2) 电网侧，构建“220 kV 变电站为核心、110 kV 线路为骨架”的坚强电网结构，在工业园区部署智能配电网系统，提升电网对多元电源的接纳能力和供电可靠性。3) 负荷侧，推动工业园区内企业开展能源梯级利用改造，将余热发电产生的电力优先满足园区工业负荷，余热蒸汽供应园区内其它企业及周边居民供暖，实现能源就近消纳和高效利用。4) 储能侧，在工业园区建设大型电化学储能电站，配套建设工业余热储热系统，解决工业负荷波动导致的电力供需失衡问题，同时利用储能系统参与电网调峰，提升能源利用效率。5) 智慧平台，搭建工业能源互联网 (IEI) 平台，实时监控工业企业生产用能、余热利用、光伏出力及储能状态，优化能源调度方案，实现工业能源消费的精细化管理和碳排放量实时监测。

商业模式：采用“政府政策扶持+工业园区牵

头 + 能源企业投资运营 + 工业企业购能”模式，鼓励能源企业与工业企业签订长期能源供应协议，实现经济效益与环境效益双赢。

5.2 农业生物质资源型县域（以中部某农业县为例）

资源特征：太阳能资源中等，农业秸秆、畜禽养殖废弃物资源丰富。

核心路径：1) 电源侧，建设生物质热电联产（CHP）项目，提供稳定电力和蒸汽，配套建设屋顶分布式光伏。2) 电网侧，建设可靠的双环网或智能环网柜，保障生物质电厂和重要负荷供电可靠性。3) 负荷侧，园区重点布局需蒸汽热负荷的产业，实现生物质热能就近高效利用。4) 储能侧，配置小型储热罐和分布式蓄电池，解决热电解耦合短时电力调峰问题。5) 智慧平台，IEMP 平台重点监控生物质燃料全流程，优化热电负荷匹配，管理农业废弃物碳足迹。

商业模式：采用“政府引导 + 村集体以秸秆入股 + 专业公司运营”模式，实现环境治理、农民增收和能源保障多赢。

5.3 风光资源型县域（以西北某县为例）

资源特征：太阳能、风能资源丰富，土地广阔。

核心路径：1) 电源侧，在园区周边建设集中式光伏电站和风电场，全面铺设园区内厂房屋顶分布式光伏，预留制氢设备接口。2) 电网侧，升级园区电网为双向互济的主动配电网，加强与县域公共电网互联互通关口建设。3) 负荷侧，引入数据中心、高端装备制造等优质负荷，对现有高载能企业进行节能改造，安装可控负荷装置接入需求响应系统。4) 储能侧，配置大规模电化学储能电站用于日内调峰调频，探索“光伏 + 制氢”长时储能模式。5) 智慧平台，建设 IEMP，重点攻克风光功率预测精度和沙尘天气影响模型，优化储能充放电策略，参与省内绿电交易。

商业模式：以能源国企或大型能源服务公司为投资主体，通过“绿电交易 + 辅助服务市场 + 容量租赁”等多渠道回收投资。

6 发展相关对策及建议

中国县域零碳园区建设在技术、资金和机制方

面存在诸多困难。

6.1 技术研发层面

突破关键技术瓶颈：加大对分布式新能源发电、储能等关键技术的研发投入，提高可再生能源发电的稳定性和储能技术的能量密度、充放电效率，降低成本。例如，研发新型储能材料和技术，解决储能技术在大规模储能需求方面的瓶颈。

解决能源系统问题：通过虚拟电厂、新型电力系统与微电网技术打通能源脉络，以共享储能优化绿电调控，解决可再生能源消纳能力不足的问题，如光伏午间发电高峰与生产用电需求错位的问题。

降低数字化成本：构建 SaaS 碳管理平台，降低数字化门槛，解决碳核算盲区、系统割裂与高成本等问题，提高园区能源管理和碳管理的效率和精准度。

推动技术创新与合作：建设国家级创新中心及实验室，加强产学研深度融合，积极开展国际合作，引进国外先进经验促进国内技术升级，推动零碳技术的创新和应用。

6.2 资金保障层面

设立专项补贴资金：国家和地方政府设立零碳园区建设专项补贴资金，对园区内积极采用新能源技术、设备进行节能减排改造的企业，按照项目投入金额或实际减排量给予一定比例的补贴，激励企业主动参与绿色转型。

完善税收优惠政策：对入驻零碳产业园的企业减免所得税和增值税，对采用先进低碳技术设备的企业实行加速折旧或投资抵免，降低企业运营成本，提高企业的资金回报率。

引导金融机构支持：完善绿电交易及碳金融市场规则，引导金融机构开发绿色信贷、绿色债券等专项产品，为零碳园区建设提供资金支持。同时，支持企业通过上市融资拓宽资金来源。

吸引社会资本投入：凭借绿色投融资等渠道，鼓励社会资本参与零碳园区建设，充分发挥市场机制的作用，解决资金缺口问题。

6.3 政策机制层面

强化顶层设计与统筹规划：将零碳产业园建设纳入地区“十五五”规划，并建立专项规划，明确分阶段目标，根据各地资源禀赋与发展需求合理布

局园区。成立由发展改革部门牵头，多相关部门参与的协调小组，解决能源政策与产业政策衔接等重大问题，提高政策协同性和执行效率。

完善政策支持体系：推出更多针对性的政策措施，如土地政策、产业政策等，支持零碳园区建设。同时，加强政策的落实和监督，确保各项政策措施能够真正落地见效。

建立标准体系：制定和完善零碳园区建设的标准体系，为园区建设提供科学、系统、可操作的标准化依据，规范零碳园区的建设和管理。

促进区域合作与经验分享：建立零碳产业园建设经验交流平台，鼓励先进园区与其他园区开展结对帮扶，分享经验与技术成果，共同推动零碳园区的规模化、差异化发展。

7 结语与展望

县域电网视角下的零碳园区建设，既是国家“双碳”战略在基层落地的关键抓手，也是县域经济突破传统发展路径、实现绿色转型的核心载体。本文通过系统分析县域电网参与零碳园区建设的战略意义，梳理其资源禀赋优势与现实瓶颈，构建了“因地制宜开发、统筹系统规划、多元模式创新、安全技术支撑”的关键支柱与“源网荷储协同 + 数字智能调控 + 多元能源互补”的技术框架，并结合东、中、西 3 类典型县域案例提出差异化建设路径，最终从技术、资金、政策层面给出破局对策，形成了一套兼具理论指导性与实践操作性的技术体系。

展望未来，随着新型电力系统建设的深入推进与数字技术的迭代升级，县域零碳园区建设将呈现 3 大趋势：其一，技术层面将实现“多能深度融合”，分布式光伏、风电与生物质能、地热能的互补性进一步增强，氢能、长时储能等前沿技术的经济性突破将打通“零碳”“最后一公里”，数字孪生、AI 调度等技术将推动园区能源管理从粗放式向精细化跃升；其二，模式层面将走向“多元协同共生”，政府引导与市场驱动的协同机制更加成熟，绿电交易、碳资产开发、共享储能等商业模式将形成闭环，社会资本参与度显著提升，实现“环境效益-经济效益-社会效益”的统一；其三，空间层面将迈向“全域联动扩展”，单个零碳园区的建设经

验将向县域全域延伸，形成“园区-乡镇-县域”3 级零碳体系，最终与区域主干电网、全国碳市场深度联动，让县域零碳园区从试点示范走向规模化推广，为中国探索具有县域特色的绿色低碳发展之路提供坚实保障。

参考文献

- [1] 庄贵阳. 我国实现“双碳”目标面临的挑战及对策[J]. 人民论坛, 2021(18):50-53.
- [2] 陈艳波, 张宁, 李嘉祺, 等. 零碳园区研究综述及展望[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(14):5496-5517.
- [3] 郭勇, 程春萌. 基于序关系法-熵权法的县域电网评价体系研究[J]. 农村电气化, 2019(6):21-25.
- [4] 罗艺华, 刘志勇, 刘玉就, 等. 县域农村智能配电网关键技术与实现路径[J]. 农村电气化, 2020(7):5-7.
- [5] 阮前途, 梅生伟, 黄兴德, 等. 低碳城市电网韧性提升挑战与展望[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(8):2819-2830.
- [6] 张海春, 陈望达, 沈浚, 等. 计及灵活性资源的配电网韧性研究评述[J]. 电力建设, 2023, 44(12):66-84.
- [7] 张虹, 闫贺, 申鑫, 等. 面向能源社区能量管理的配网产消者分布式优化调度[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(12):4449-4459.
- [8] 周鑫, 陈明扬, 罗彬, 等. 近零碳排放园区建设思路和对策建议[J]. 四川环境, 2023, 42(5):268-273.
- [9] 谢典, 高亚静, 芦新波, 等. 零碳园区建设的发展现状、挑战与建议[J]. 中国电力企业管理, 2024(25):92-93.
- [10] 蒋庆哲, 刘杨, 蒲欣宇, 等. 零碳园区建设的系统路径、发展模式及治理生态[J]. 中国人口·资源与环境, 2025, 35(5):13-23.
- [11] 李静, 张卡, 宋杰. 园区级源网荷储一体化项目开发现状研究[J]. 中国能源, 2023, 45(6):77-84.
- [12] 肖龙海, 张海春, 高倩, 等. 县域数智新型电力系统示范建设的路径探索[J]. 农村电气化, 2023(3):7-13.
- [13] 袁洁, 王勇. 从国际减碳视角看我国零碳园区发展的关键任务[J]. 中国工程咨询, 2024(8):89-94.
- [14] 郭俊英, 程冬生. 基于云平台的综合能源服务智慧管理研究[J]. 农村电气化, 2022(12):31-33, 37.
- [15] 马虹. 智慧能源及碳排放监测管理平台系统方案研究与应用[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(4):28-31, 115.

作者简介

张锋 (1977—), 男, 硕士, IET Fellow、正高级工程师, 研究方向为电力系统运行与控制、虚拟电厂与主网协同等, E-mail: 10744587611@qq.com.

张怡 (1977—), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为新能源利用技术、无人机在电力领域应用等, E-mail: zhangyizs@yeah.net.

张炜 (1993—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力调度与电能质量研究, E-mail: zh110068@163.com.

(责任编辑: 张峰亮)